УДК 621.3

В.В. Гармаш, А.Я. Кулик
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна
kulyk@inaeksu.vstu.vinnica.ua

Метод зменшення блокової структури JPEG-зображень

Представлено новий алгоритм для зменшення артефакту блокової структури, який виникає на зображеннях, оброблених за алгоритмом JPEG з високим коефіцієнтом стиснення. Цей алгоритм поєднує в собі діадне вейвлет-перетворення та метод оптимальної інтерполяції. Основна перевага його – простота та легка реалізація, за рахунок відсутності будь-яких «порогових методик» в процесі розробки. Запропонований метод покращує візуальну якість зображення та пікове відношення сигнал/шум (PSNR).

Вступ

В задачах передавання, оброблювання та зберігання зображень велике значення набувають методи стиснення даних. Це пов’язано, перш за все, з тим, що дані в таких системах зазвичай складають інтенсивні цифрові потоки. Тому навіть незначне скорочення інформації дозволить збільшити обсяг передачі та зберігання даних. В цьому випадку якість роботи алгоритмів стиснення безпосередньо позначається на ефективності застосування систем. При цьому основна частка оброблюваної інформації припадає на зображення та відеопослідовності. Ефективним способом скорочення інтенсивності цифрового потоку є стиснення переданих даних з подальшим відновленням на приймальній стороні. Відомі методи стиснення без втрат зазвичай характеризуються низькою ефективністю при роботі із зображеннями. Тому доцільно застосовувати методи стиснення зі втратою інформації, що дозволяє досягати більш високих коефіцієнтів. З іншого боку, крім малого розміру зображення повинно мати достатньо високу візуальну якість. Так, наприклад, для успішного розв’язання задач пошуку та ідентифікації об’єктів, визначення різного роду їх кількісних характеристик необхідно, щоб зображення характеризувалися високою візуальною якістю, яка втрачається внаслідок стиснення зі втратами, незадовільних умов отримання зображень, недосконалості систем передавання відеоінформації та її відображення, впливу завад тощо [1].

Одним з найпоширеніших методів стиснення зі втратами є алгоритм JPEG. Він дозволяє стиснути зображення з піксельною глибиною від 6 до 24 біт із задовільною швидкістю та ефективністю. Але його головним недоліком є те, що підвищення ступеня ущільнення зображення призводить до розпадання на окремі квадрати (8 × 8, 16 × 16). Це пов’язано з тим, що відбуваються великі втрати в низьких частотах при квантуванні, і відновити вихідні дані стає неможливим.

Тому актуальною є задача перетворення зображень з метою поліпшення їх візуальної якості та підвищення інформативності.

Аналіз останніх досліджень

Процес стиснення за схемою JPEG складається з кількох етапів:
– перетворення зображення на оптимальний колірний простір;
– субдискретизація компонентів колірності усередненням груп пікселів;
– застосування дискретних косинусних перетворень для зменшення надлишковості даних зображення;

– квантування кожного блока коефіцієнтів дискретних косинусних перетворень із застосуванням вагових функцій, оптимізованих з урахуванням візуального сприйняття людиною;

– кодування результуючих коефіцієнтів даного зображення із застосуванням алгоритму Хаффмана для зменшення надлишковості інформації [2].

Обробка блока ДКП відома як блочне дискретне косинусне перетворення (БДКП). Процес розділення всього зображення на блоки забезпечує ефективну розробку апаратних засобів та зменшує час обчислення. Разом з тим оскільки БДКП використовується блок за блоком без розгляду кореляції між двома сусідніми блоками, це призводить до виникнення блокових артефактів, які з'являються на багатьох границях між двома сусідніми блоками. Це явище відоме як блокова структура. Вона погіршує якість декодованого зображення і є очевидною у випадку більш високого степеня стиснення.

Відомі методи вирішення проблеми блокової структури зображення в просторово-частотній області. Такі методи ефективні, тому що використовують вейвлет-представлення та методи порогової обробки. Серед методів вирішення проблеми блокової структури зображення можна виділити: алгоритм постоброблювання на основі вейвлетів, який базується на представленні блокової структури у вигляді шуму [3], методи оптимізації з використанням граничної ортонормованої функції [4], [5], метод з аналізом коефіцієнта кореляції масштабу надповного вейвлет-представлення [6], метод, який використовує вейвлет-перетворення модуля максимального значення [7], алгоритм, який може адаптивно вибирати поріг для різних зображень [8]. Головною перевагою цих методів є те, що вони можуть покращувати візуальну якість та пікове відношення сигнал/шум (PSNR) за рахунок правильного вибору порогу. Головним недоліком усіх методів, заснованих на вейвлет-представленні, є необхідність правильного вибору порогу, оскільки лише в цьому випадку отримують потрібні результати зменшення блокової структури зображення.

Таким чином, методи, які існують для вирішення проблеми блокової структури, є або надто складними для реалізації, або не можуть вирішити проблему блокової структури достатньою мірою.

Метою даної роботи є підвищення якості стиснених зображень на основі дослідження та врахування чинників, які впливають на зменшення блокової структури. При цьому необхідно розробити метод, що ефективно зменшує блокову структуру, але має низьку обчислювальну складність, просту реалізацію і покращує якість стисненого зображення.

Метод зменшення блокової структури зображення

Для зменшення блокової структури зображення доцільно використати діадне вейвлет-перетворення та оптимальну інтерполяційну методику для оброблення кожного рядка та кожного стовпчика для стисненої матриці зображення. Таким чином, проблема зменшення блокової структури у двовимірній обробці сигналів зображення перетворюється на оброблення одновимірних сигналів.

Декодована матриця $N \times N$ зображення X із блоковою структурою може бути виражена в підматричній формі:

$$X = \begin{pmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,n} \\ X_{2,1} & X_{2,2} & \dots & X_{2,n} \\ \dots & & & \\ X_{n,1} & X_{n,2} & \dots & X_{n,n} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де $X_{i,j}$ – це підматриця B х B, i,j = 1,2,3, ..., n та $n = N/B$ і є цілим числом. Кожна $X_{i,j}$ називається блоком. Існують блокові артефакти між кожними суміжними границями блоків. Такі артефакти називаються блоковою структурою зображення.

Також можна виразити $N \times N$ зображення із блоковою структурою X як $X = = (x(i,j)), i,l \in \{1,2,...,N\}$. Блокова структура збільшується між кожними суміжними границями блоків, тобто між кожними $j = pB$ та $j = pB+1$ стовпчиків та $i = qB$ та $i = qB+1$ рядків, де $p,q \in \{1,2,...,n-1\}$.

Для даного цілого числа і необхідно визначити вектор рядка $x_i \overset{def}{=} (x(i,j)), j = 1,2,...,N$. Вектор x_i може бути поданий у вигляді дискретного сигналу з кінцевою енергією. j-й елемент у векторі x_i є $x_i(j)$, що еквівалентно $x(i,j)$. Блокова структура робить кожні дві точки $x_i(pB)$ та $x_i(pB+1)$ розривними, де p = 1,2, ... n-1. Отже, є високі частоти навколо позицій цих точок, де сигнал x_i перетворюється в просторово-частотну область.

Вейвлет-перетворення для $f(x)$ у масштабі 2^j та позиції x визначається згорткою

$$W_{2^j} f(u) = (f(x) * \psi_{2^j}(x))(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi\left(\frac{x-u}{2^j}\right) dx. \quad (2)$$

Діадне вейвлет-перетворення є послідовністю функцій

$$Wf = \left(W_{2^j} f(x)\right)_{j \in Z}, \quad (3)$$

де W – оператор діадного вейвлет-перетворення.

Нехай функція $\phi(x)$ – відповідна згладжувальна функція вейвлета $\Psi(x)$ та S_{2^j} – згладжувальний оператор, визначений як згортка

$$S_{2^j} f(u) = (f(x) * \varphi_{2^j}(x))(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \frac{1}{2^j} \varphi\left(\frac{x-u}{2^j}\right) dx, \quad (4)$$

де $\phi_{2^j}(x)$ визначений як

$$\varphi_{2^j}(x) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \varphi\left(\frac{x}{2^j}\right). \quad (5)$$

Тоді з вищевказаного визначення можна побачити, що більше деталей $f(x)$ видалені S_{2^j}, якщо масштаб 2^j стає більшим.

Якщо оригінальний сигнал є дискретною послідовністю $f = (f(n))_{n \in Z}$, можна припустити, що фрагменти $a_0(n)$ вхідного дискретного сигналу не зовсім дорівнюють $f(n)$, але локальне середнє f по сусідству $t = n$. Отже, $a_0(n)$ може бути записане наступною формулою:

$$a_0(n) = \langle f(t), \phi(t-n) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi(t-n) dt. \quad (6)$$

Для кожного $j > 0$

$$S_{2^j} f = a_j(n) = \langle f(t), \phi_{2^j}(t-n) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \phi_{2^j}(t-n) dt. \quad (7)$$

Діадне вейвлет-перетворення описується

$$W_{2^j} f = d_j(n) = Wf(n, 2^j) = \langle f(t), \psi_{2^j}(t-n) \rangle. \quad (8)$$

Для кожного масштабу 2^J послідовність дискретних сигналів $\left(S_{2^J} f, (W_{2^j} f)_{1 \le j \le J}\right)$ називається дискретним діадним вейвлет-перетворенням $f = (f(n))$.

Отже, діадне вейвлет-перетворення *(S_2f, W_2f)* як *(Sf, Wf)* для функції *f(n)*, де *Sf* подає низькочастотну інформацію *f(n)*, а *Wf* – високочастотну інформацію *f(n)*.

Головна ідея методу схематично наведена на рис. 1.

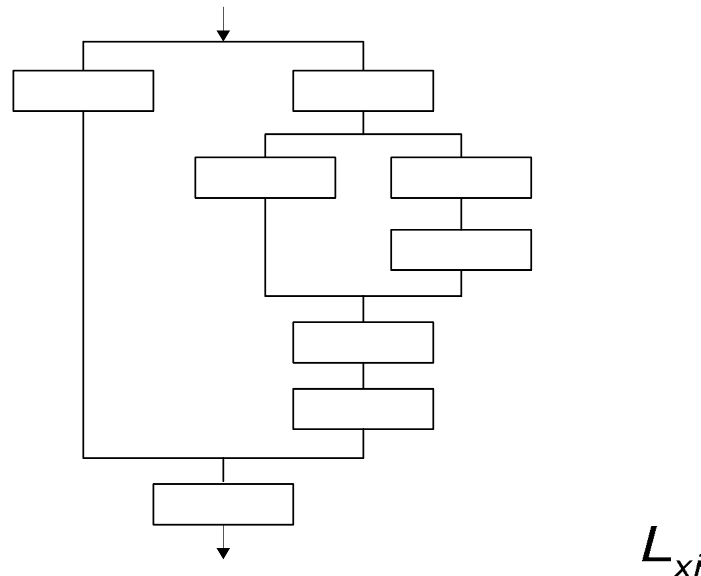


Рисунок 1 – Процес зменшення блочної структури

Спочатку застосовується діадне вейвлет-перетворення для перетворення сигналу x_i на дві субсмуги: одна – низькочастотна Lx_i, яка вміщує низькочастотну інформацію сигналу x_i, та друга – високочастотна Hx_i, яка виражає високочастотну інформацію сигналу x_i. Далі, аналогічне перетворення застосовується для високочастотної субсмуги Hx_i. При цьому наявні дві субсмуги – одна високо-низькочастотна субсмуга LHx_i та друга високо-високочастотна HHx_i. Після цього отриманий високо-високочастотний сигнал проходить через розроблений оптимальний інтерполяційний фільтр ОІФ, який може згладжувати сигнал на границях блоку та зберігати оригінальну інформацію для інших позицій. Отриманий сигнал разом з високо-низькочастотним сигналом перетворюються назад на нову високочастотну субсмугу Hx_i за рахунок зворотного вейвлет-перетворення ЗДВП. Далі сигнал нової високочастотної субсмуги знову проходить через той самий ОІФ. Беручи зворотне перетворення цього сигналу з сигналом низькочастотної субсмуги Lx_i, можна отримати новий сигнал €_i, який відповідає оригінальному сигналу x_i зі зменшеною блоковою структурою.

Оптимальний інтерполяційний фільтр розробляється наступним чином.

Нехай вектор $f_h = (f(j))$ являє собою високочастотну субсмугу сигналу $x_i^h = (x_i^h(j))$ чи високо-високочастотну субсмугу сигналу $x_i^{hh} = (x_i^{hh}(j))$, $j = 1,2,..., N$. Для даного $p \in$ $\in \{1,2,..., n-1\}$ існують чотири точки $f(pB-1), f(pB), f(pB+1)$ та $f(pB+2)$ навколо границь блоку у векторі $f_h = (f(j))$, доцільно взяти відповідно чотири нових точки $\bar{f}(pB-1), \bar{f}(pB), \bar{f}(pB+1)$ та $\bar{f}(pB+2)$ замість чотирьох точок $f(pB-1), f(pB),$ $f(pB+1)$ та $f(pB+2)$ для зменшення блокової структури. В такому випадку точки $\bar{f}(pB-1)$, $(\bar{f}(pB-1) - f(pB-2))^2$ та $(\bar{f}(pB-1) - f(pB))^2$ потрібно зробити настільки

малими, наскільки це можливо, та дуже близькими до оригінальної точки $f(pB-1)$ так, що

$$\bar{f}(pB-1)=\arg\min\left\{\sum_{i=0,1,2}\left(\bar{f}(pB-1)-f(pB-i)\right)^2\right\}. \quad (9)$$

Інші три точки, $\bar{f}(pB), \bar{f}(pB+1)$ та $\bar{f}(pB+1)$, повинні бути також взяті як

$$\bar{f}(pB)=\arg\min\left\{\left(\bar{f}(pB)-\bar{f}(pB-1)\right)^2+\sum_{i=0,1}\left(\bar{f}(pB)-f(pB+i)\right)^2\right\}, \quad (10)$$

$$\bar{f}(pB+1)=\arg\min\left\{\left(\bar{f}(pB+1)-\bar{f}(pB)\right)^2+\sum_{i=1,2}\left(\bar{f}(pB+1)-f(pB+i)\right)^2\right\}, \quad (11)$$

$$\bar{f}(pB+2)=\arg\min\left\{\left(\bar{f}(pB+2)-\bar{f}(pB+1)\right)^2+\sum_{i=2,3}\left(\bar{f}(pB+2)-f(pB+i)\right)^2\right\}. \quad (12)$$

Таким чином, проблема зменшення блокової структури перетворюється на наступну оптимізаційну проблему:

$$\min_{\bar{f}(pB-1)}\left\{\sum_{j=0,1,2}\left(\left(\bar{f}(pB-1)-f(pB-j)\right)^2\right)\right\}, \quad (13)$$

$$\min_{\bar{f}(pB)}\left\{\left(\bar{f}(pB)-f(pB-1)\right)^2+\sum_{j=0,1}\left(\bar{f}(pB)-f(pB+j)\right)^2\right\}, \quad (14)$$

$$\min_{\bar{f}(pB+1)}\left\{\left(\bar{f}(pB+1)-f(pB)\right)^2+\sum_{j=1,2}\left(\bar{f}(pB+1)-f(pB+j)\right)^2\right\}, \quad (15)$$

$$\min_{\bar{f}(pB+2)}\left\{\left(\bar{f}(pB+2)-f(pB+1)\right)^2+\sum_{j=2,3}\left(\bar{f}(pB+2)-f(pB+j)\right)^2\right\}, \quad (16)$$

де $p=1,2,...,n-1$.

Беручи похідну (13) по відношенню до $\bar{f}(pB-1)$ та прирівнюючи похідну до нуля, отримуємо

$$2\left(\bar{f}(pB-1)-f(pB-2)\right)+2\left(\bar{f}(pB-1)-f(pB-1)\right)+2\left(\bar{f}(pB-1)-f(pB)\right)=0. \quad (17)$$

Звідси випливає

$$3\bar{f}_{pB-1}=f(pB-2)+f(pB-1)+f(pB). \quad (18)$$

Подібним чином, беручи похідні (6), (7) та (8) відповідно, ми отримаємо:

$$3\bar{f}(pB)-\bar{f}(pB-1)=f(pB)+f(pB+1), \quad (19)$$

$$3\bar{f}(pB+1)-\bar{f}(pB)=f(pB+1)+f(pB+2), \quad (20)$$

$$3\bar{f}(pB+2)-\bar{f}(pB+1)=f(pB+2)+f(pB+3). \quad (21)$$

Об'єднуючи (18), (19), (20) та (21) в одну формулу, отримуємо:

$$\begin{pmatrix}3&0&0&0\\-1&3&0&0\\0&-1&3&0\\0&0&-1&3\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\bar{f}(pB-1)\\\bar{f}(pB)\\\bar{f}(pB+1)\\\bar{f}(pB+2)\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}1&1&1&0&0&0\\0&0&1&1&0&0\\0&0&0&1&1&0\\0&0&0&0&1&1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\bar{f}(pB-2)\\\bar{f}(pB-1)\\\bar{f}(pB)\\\bar{f}(pB+1)\\\bar{f}(pB+2)\\\bar{f}(pB+3)\end{pmatrix}. \quad (22)$$

Таким чином сформований вектор, який складається з нових чотирьох точок:

$$\begin{pmatrix} \bar f(pB-1) \\ \bar f(pB) \\ \bar f(pB+1) \\ \bar f(pB+2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 3 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar f(pB-2) \\ \bar f(pB-1) \\ \bar f(pB) \\ \bar f(pB+1) \\ \bar f(pB+2) \\ \bar f(pB+3) \end{pmatrix}. \tag{23}$$

Дві матриці *A* та *B* можна визначити як

$$\mathrm{A} \overset{\text{def}}{=} \begin{pmatrix} 3 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 3 \end{pmatrix}, \ \mathrm{B} \overset{\text{def}}{=} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \tag{24}$$

Тоді загальний розв’язок:

$$\begin{pmatrix} \bar f(pB-1) \\ \bar f(pB) \\ \bar f(pB+1) \\ \bar f(pB+2) \end{pmatrix} = \mathrm{A}^{-1}\mathrm{B} \begin{pmatrix} \bar f(pB-2) \\ \bar f(pB-1) \\ \bar f(pB) \\ \bar f(pB+1) \\ \bar f(pB+2) \\ \bar f(pB+3) \end{pmatrix}. \tag{25}$$

Базуючись на вищезгаданому аналізі, можна розробити оптимальний інтерполяційний фільтр як

$$OI\Phi(f(j)) = \begin{cases} \bar f(j), \ j \in \{pB-1, pB, pB+1, pB+2\}, \ p \in \{1,2,\dots, N/B-1\} \\ f(j), \ \textit{в іншому випадку} \end{cases} \tag{26}$$

Результати

Для експерименту використовувалось зображення, наведене на рис. 2. Зображення було стиснене за стандартом JPEG з якістю $q = 10$, PSNR стиснутого зображення 29,4786 дБ. Воно наведене на рис. 3. Після цього до нього було застосовано запропонований метод покращення PSNR. Новий показник PSNR становить 29,9458 дБ, тобто він підвищився на 0,4667 дБ. Нове зображення наведене на рис. 4, з якого видно також і покращення візуальної якості.



Рисунок 2 – Оригінальне зображення

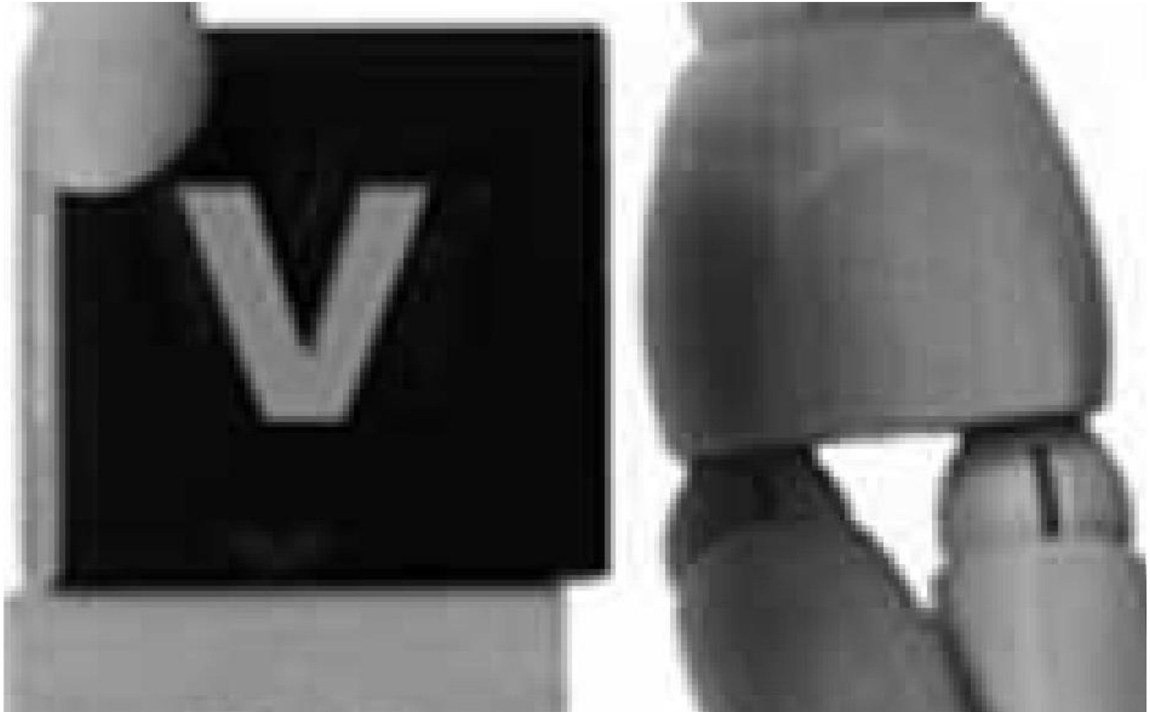


Рисунок 3 – Частина збільшеного стисненого зображення (PSNR = 29,4786 дБ)



Рисунок 4 – Зображення після процесу обробки (29,9458 дБ)

Висновки

Запропоновано новий метод для зменшення блокової структури зображення, розроблений у просторово-частотній області. Цей метод базується на дискретному вейвлет-перетворенні та методі оптимальної інтерполяції. Основна перевага цього алгоритму –

невисока складність та легка реалізація порівняно з існуючими методами. Повністю відсутні «порогові методики» у процесі розробки. Експерименти показують, що запропонований метод може покращити візуальну якість зображення та пікове відношення сигнал/шум (PSNR).

Література

1. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений / Журавель И.М. – М., 1999.
2. Ватолин Д. Методы сжатия даннях / Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М. – М. : Диалог-МИФИ, 2003. – 381 с.
3. Gopinath R.A. Wavelet Based Post Processing of Low Bit Rate Transform Coded Images / Gopinath R.A // Proc. ICIP'94. – Nov. 1994. – P. 913-917.
4. Jeon B. Locking artifacts reduction in image coding based on minimum block boundary discontinuity / B. Jeon, J. Jeong and J. Jo // Visual Communications Proceedings, Image Processing. – May 1995. – P. 198-209.
5. Jeong J. Use of a class of two dimensional funtions for blocking artifacts reduction in image coding / J. Jeong and B. Jeon // Proceedings of the International Conference on Image Processing. – October 1995. – P. 478-481.
6. Zixiang Xiong. A Deblocking Algorithm for JPEG Compressed Images Using Overcomplete Wavelet Representations / Zixiang Xiong, M.T. Orchard, Yaqin Zhang // IEEE Trans. Circuits Syst. [Video Technol]. – 1997. – Vol. 7, № 2. – P. 433-437.
7. Hsung T.C. A Deblocking Technique for Block Transform Compressed Image Using Wavelet Transfor Modulus Maxima / T.C. Hsung, D.P.K. Lun, W.C. Siu // IEEE Trans. Image Processing. – 1998. – Vol. 7, № 10. – P. 1488-1496.
8. Wu S. An Efficient Wavelet Based Deblocking Algorithm for Highly Compressed Images / S. Wu, H. Yan, Z. Tan // IEEE Trans. Circuits Syst. [Video Technol]. – 2001. – Vol. 11, № 11. – P. 1193-1198.

В.В. Гармаш, А.Я. Кулик
Метод уменьшения блочной структуры JPEG-изображений
Представлен новый алгоритм для уменьшения артефакта блочной структуры, возникающий на изображениях, обработанных по алгоритму JPEG с высоким коэффициентом сжатия. Этот алгоритм объединяет в себе диадное вейвлет-преобразование и метод оптимальной интерполяции. Основное преимущество его – простота и легкая реализация, за счет отсутствия любых «пороговых методик» в процессе разработки. Предложенный метод улучшает визуальное качество изображения и пиковое отношение сигнал/шум (PSNR).

V.V. Garmash, A.Y. Kulyk
Blocking Artifacts Reduction Method in JPEG-images
The paper is devoted to the problem of construction of polynomial separate surfaces for the task of two-class images classification. It is proposed an iteration method that provides to get the coefficients of separate hyper surfaces based on taking into account of peculiarity of the location of learning examples on the boundary between classes. A new algorithm for reducing block artifact structure that occurs in images processed by JPEG algorithm with high compression ratio was proposed. This algorithm combines diadic wavelet transform and the method of optimal interpolation. Its main advantage – simplicity and easy implementation, due to the absence of any threshold techniques in the development process. The proposed method improves the visual quality and peak signal – noise ratio (PSNR).

Стаття надійшла до редакції 02.07.2010.